

## ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ҐРУНТОВИХ ВОД

В роботі приведено підхід до розроблення розподіленої вимірювальної системи. Представлено архітектуру розподіленої вимірювальної системи та архітектуру програмного забезпечення, приведено перелік основних вимог до програмного забезпечення такої системи. Проведено аналіз досліджень щодо способів контролю якості ґрунтових вод. Приведено вибір основних обчислювальних елементів всіх ланок розподіленої вимірювальної системи.

**Ключові слова:** розподілена система вимірювання, контроль, ґрунтові води, якість

В работе приведены подход к разработке распределенной измерительной системы. Представлены архитектура распределенной измерительной системы и архитектура программного обеспечения, приведены перечень основных требований к программному обеспечению такой системы. Проведен анализ исследований по способам контроля качества грунтовых вод. Приведены выбор основных вычислительных элементов всех звеньев распределенной измерительной системы.

**Ключевые слова:** распределенная система измерения, контроль, грунтовые воды, качество

This paper shows the approach to developing distributed measurement system. Presented architecture distributed measurement systems and software architecture. This is a list of basic software requirements of the system. An analysis of research on how to control the quality of groundwater is presented. Selection of basic computing elements of all parts of distributed measurement system is presented.

**Keywords:** distributed system for measuring, monitoring, groundwater quality

**Постановка проблеми.** Розроблення вимірювальних систем та систем контролю за технологічними об'єктами на даний час набуває тенденцій до впровадження комп'ютерних технологій не тільки до оброблення первинних вимірювальних даних, а також і до передавання, сортування, групування, представлення інформації в терміналах та персональних комп'ютерах. Такі тенденції лягли в основу широкого розвитку розподілених вимірювальних систем (РВС).

За допомогою РВС поєднуються багатоточкові безпосередні акти збору інформації та інформаційні поля оброблення та передачі інформації. За результатами оброблення великого масиву даних від РВС можна приймати більш оптимальні рішення щодо об'єктів моніторингу [6].

Важливим застосування РВС є для контролю якості ґрунтових вод, оскільки інформацію потрібно збирати на значній території із часовими штампами кожного вимірювання. Традиційні методи контролю, які передбачають використання єдиного контролера та менеджера інформації не буде забезпечувати необхідних можливостей порівняльної інформації щодо зміни в просторі і часі контрольованих параметрів. Реалізація традиційним підходом вимірювання таких розподілених параметрів буде значно дорожче, оскільки вимагатиме окремих пристроїв.

Вимірювання якості ґрунтових вод базується на ряді підходів, серед яких можна виокремити хімічні, біологічні та фізичні властивості. Ряд науковців приділяють значну увагу, щодо оцінки якості ґрунтових вод на транзитну зону – перехід між поверхневими водами та ґрунтовими [7]. Взаємодію поверхневих вод та ґрунтових оцінюють за

проникаючими осадками, умов зволоження та швидкістю потоку. Такі параметри є подібними до оцінки земляного водоносного шару.

Ряд вчених стверджують, що вивчення взаємодії ґрунтових та поверхневих вод є джерелом інформації щодо метаболізму річкових вод [5]. Загальна оцінка стану водних ресурсів також залежить від можливості оцінки кількості обміну та шляхів їх здійснення. Методи та первинні пристрої контролю стану води на даний час є розробленими. Так, вчені Мурдох та Келлі запропонували вимірювати прямий потік води методом просочування типу мішка [8]. Іншим методом запропонував вимірювати водяний потік науковець Шмідт [9]. Згідно з його підходом знання різниці температур між ґрунтовими та поверхневими водами дає можливість виокремити зони, де відбувається вихід ґрунтових вод та поступлення поверхневих вод в ґрунтові. Швидкість руху ґрунтових вод оцінюють за допомогою маркерів та вимірювання швидкості їх поширення [10]. Як маркер можна використовувати сіль, наприклад, хлорид кальцію. Вимірювання можна здійснювати за допомогою п'єзотрубки, підхід до моделювання п'єзопластини наведено в праці [1].

Як можна побачити із аналізу проведених досліджень, побудова первинного перетворювача збору інформації є вирішеною задачею. Вимірювання ґрунтових вод вимагає розроблення системи із первинних датчиків, що зможуть визначати параметри контролю в багатьох точках одночасно на протязі тривалого часу. З такою задачею може справитись РВС. В нашому дослідженні ми пропонуємо розроблення програмного забезпечення для реалізації програмного аспекту роботи РВС.

**Основи побудови розподіленої системи вимірювань.** РВС можна розглядати як набір автономних вимірювальних систем, що з'єднані в мережу і управляються програмним забезпеченням, що підходить до такої мережевої архітектури [6]. Для забезпечення автономності необхідно передбачити такі параметри автономної вимірювальної системи:

1. Незалежність живлення.
2. Мережеве з'єднання.
3. Наявність мікрокомп'ютера для роботи із первинними вимірювальними даними, процесом вимірювання, передачі та прийому даних по мережі.
4. Пристрою зберігання даних.
5. Наявність клієнтського програмного забезпечення, що є частиною системи управління РВС.
6. Первинний захист до доступу до даних, перевірки цілісності даних, захист від несанкціонованих команд, що приходять по мережі.
7. Системи сигналізації про наявність помилок при функціонуванні автономної вимірювальної системи.

Вимоги до проектування програмного забезпечення РВС повинні бути такими:

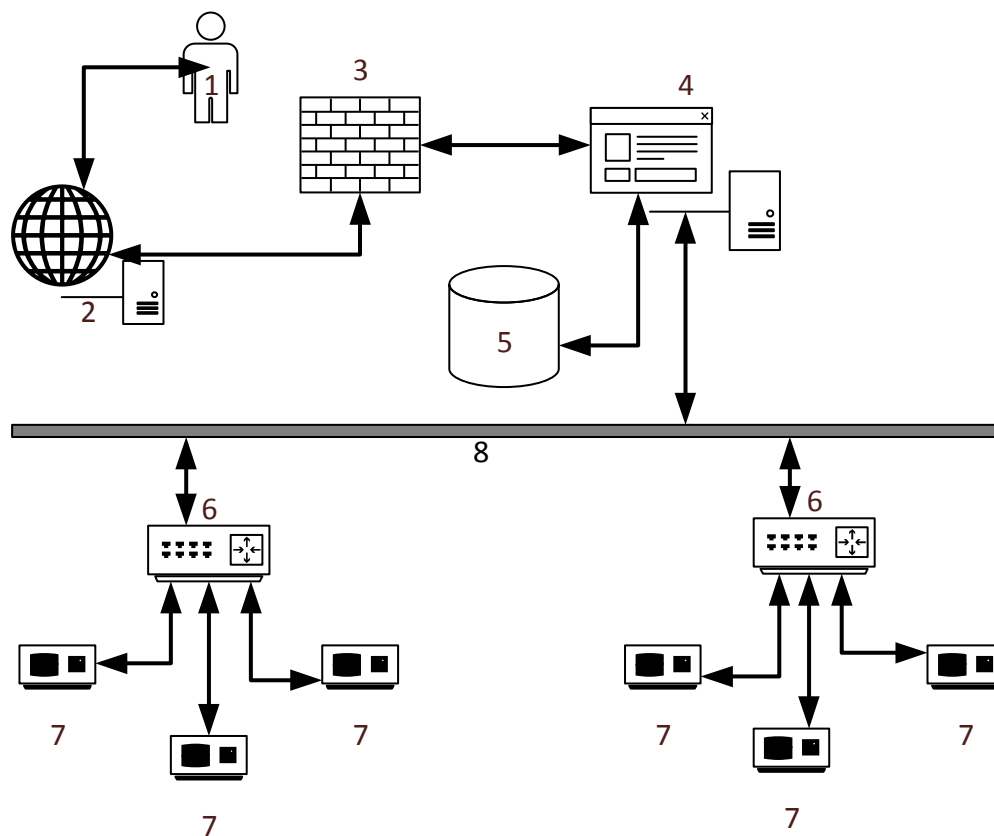
1. Координація активної фази вимірювання кожної автономної вимірювальної системи.
2. Оптимальний розподіл системних ресурсів щодо збереження даних, передачі даних по мережевих лініях зв'язку.
3. Єдиний і зрозумілий інтерфейс управління, побудований таким чином, щоб виконувалась умова функціонування програмного забезпечення як єдиного цілого, незважаючи на розподіленість вимірювальної системи. Фактично можна стверджувати, що програмне забезпечення повинно реалізувати прозорість розподіленості автономних вимірювальних модулів.
4. Програмне забезпечення автономного вимірювального модуля повинно могли самостійно виконувати весь цикл вимірювання та при цьому інформувати центральний сервер про прогрес збору вимірювальної інформації, її оброблення та зберігання. Це програмне забезпечення повинно посилати якісний набір кодів успішності / помилковості виконаних операцій.

5. Зважаючи на розподіленість в просторі автономних вимірювальних модулів посилення інформації про етапи збору та оброблення даних повинно бути визначено також і в часовому діапазоні. Це дозволить визначати збої вимірювань автономних вимірювальних систем.

Розроблення подальших вимог до проектування програмного забезпечення (ПЗ) необхідно враховувати архітектуру РВС [2].

**Архітектура розподіленої вимірювальної системи.** У випадку побудови архітектури РВС потрібно виходити із умов: а) мінімізації собівартості; б) модульності і максимальної незалежності окремих компонентів системи; в) масштабованості. З цією метою нашу вимірювальну систему пропонується сумістити із існуючими нафтогазопроводами. Це дозволить спростити механізм передавання даних. Нафтогазопровідна системи України є достатньо розгалуженою, що дозволяє не спрощувати конфігурацію вимірювальних модулів.

Для мінімізації собівартості використаємо ієрархічну структури архітектури РВС, (рис. 1). Пристрій контролю буде містити виключно функції безпосереднього збору первинної інформації контролю. Управління таким пристроєм та збір даних, їх первинне оброблення буде проводитись мікрокомп'ютером, що віддалений від пристрою контролю.



1 – користувач, 2 – веб-сервер, 3 – брандмауер, 4 – центральний сервер розподіленої вимірювальної системи, 5 – база даних, 6 – мікрокомп'ютер проведення вимірювання, 7 – пристрій контролю, 8 – центральна лінія передачі даних

**Рис. 1. Архітектура розподіленої вимірювальної системи**

До мікрокомп'ютера можуть бути під'єднаними до 10-ти пристроїв контролю. Початок процедури контролю кожного пристрою контролю буде здійснюватись послідовно. Програмне забезпечення на пристрою контролю ставитись не буде, відповідно він не вимагатиме реалізації вбудованого комп'ютера. Функції проведення контролю та комунікація із мікрокомп'ютером буде реалізована електричною схемою на базі мікроконтролера, наприклад AT32UC3L032 [4]. Особливістю мікроконтролера є наявність аналого-цифрового перетворювача, місця для збереження програми мікроконтролера та

оперативної пам'яті. За допомогою каналу зв'язку RS 485 мікроконтролер може бути віддаленим від мікрокомп'ютера на відстань до 1 км. Мікроконтролер має 12 периферійних каналів для з'єднання із зовнішніми блоками. Система таймерів дозволяє відключатись мікроконтролеру на певний період, система оброблення зовнішніх подій дозволяє включати процеси мікроконтролера зовнішньо, що дозволяє економно використовувати електричне живлення та використовувати акумулятор.

У якості мікрокомп'ютера можна використати Raspberry Pi 2 Model B [3]. Особливістю Raspberry Pi 2 Model B є те, що він працює на операційній системі Лінукс Убунту, має 40 виводів із плати пристрою для комунікації із зовнішніми пристроями. Оперативна пам'ять 1 Гб дозволяє виконувати програми, написані на технології Джава чи PHP. Процесор, виготовлений за технологією ARM Cortex-A7 з робочою частотою 900 МГц, дозволяє проводити достатній об'єм обчислень по обробленні даних та взаємодії із автономними вимірювальними системами.

Веб-сервер розділений від центрального сервера РВС за допомогою брандмауера, що збільшує рівень безпеки РВС при фактичному під'єднанні її до мережі Інтернет. Веб-сервер має власну трирівневу архітектуру, що включає сервер бази даних, проте ця база даних не містить вимірювальних даних повністю, а лише може мати оброблені дані для кожного рівня доступу користувача.

**Архітектура програмного забезпечення розподіленої вимірювальної системи.** Оскільки архітектура є високорівневою частиною ПЗ обмежимося викладенням структури ПЗ. Загальний опис ПЗ складається із чотирьох частин:

1. ПЗ рівня мікроконтролера, яке має проводити запуск та зчитування аналогових даних із первинних датчиків, оцифровувати їх за допомогою аналого-цифрового перетворювача, зберігати оброблені результати для передавання їх до мікрокомп'ютера. Мікроконтролер повинен мати систему кодів помилок, що можуть ним визначатись в процесі проведення вимірювань та прийому / передачі даних. Мікроконтролер повинен мати систему таймерів, що налаштовуються в залежності від зовнішньої команди та дозволяють вводити автономну вимірювальну систему у сплячий режим, протягом якого йде опитування інших автономних модулів мікрокомп'ютером.
2. ПЗ рівня мікрокомп'ютера повинно мати можливість здійснювати передачу / прийом даних як із центрального сервера, так і з автономних вимірювальних системами. Таке ПЗ реалізовується на мові Джава. Аналогічно до ПЗ, що є в мікроконтролера, ПЗ мікрокомп'ютера повинно містити набір кодів помилок процесу вимірювання та передачі даних. Це ПЗ має мати набір класів, що реалізують виключні ситуації при його функціонуванні. На цьому рівні необхідно реалізувати систему рівнів доступу до зчитування даних та налаштовування системи роботи віддаленого адміністрування. Необхідно відмітити, що на цьому рівні дані повинні структуруватись і міститись у відповідних класах (бінах), що відповідають таблицям бази даних.
3. Рівень центрального сервера містить всю повноту алгоритмів оброблення даних, взаємодії із базою даних, мікрокомп'ютерами та веб-сервером. Рівні доступу повинні співпадати із таким ж як і веб-сервера. На цьому рівні ПЗ дані повинні оброблятись у форму, яку необхідно для графічного та табличного, порівняльного представлень. Результати оброблених даних повинні зберігатись у відповідних класах, що відповідають таблицям бази-даних РВС та веб-сервера. Це ПЗ повинно конструюватись таким чином, щоб при зриві прийому / передачі даних зможти продовжити цю процедуру без втрати даних. Увагу потрібно приділити запису часу функціонування кожного автономного вимірювального блоку та мікрокомп'ютерів.
4. Рівень веб-сервера повинен містити трирівневу архітектуру, яка є властива для такого типу ПЗ. За допомогою різних рівнів доступу це ПЗ повинно мати змогу як

представляти дані, так і проводити адміністрування процесу роботи центрального сервера та мікрокомп'ютерів. Налаштування брандмауера повинно забезпечити доступ до центрального сервера РВС тільки із веб-сервера (ів).

Представлена архітектура дає стислий вигляд ПЗ, що повинно проводити контроль даних, що здійснюється первинними давачами.

В роботі показано підхід до реалізації РВС із використанням існуючих технологічних об'єктів. Так встановлено, що мережа нафтогазопроводів дозволить реалізувати систему з'єднань між центральним сервером та проміжною ланкою РВС, що відповідає за керування первинними давачами. Встановлено, що для роботи РВС в конфігурації, де її адаптовано до мережі нафтогазопроводів, підходить найбільш оптимально ієрархічна архітектура.

### Література

1. Лютак І. З. Математична модель роботи прямокутного чутливого елементу ультразвукового перетворювача / І. З. Лютак // Зб. наук. пр. «Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів» (Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України), випуск 11.- 2006.- С. 40-47.
2. Макконнелл С. Совершенный код. 2-е издание / Макконнелл С.- Питер. – 2005. – 896 с. – ISBN 5-7502-0064-7.
3. Офіційний сайт компанії Raspberry Pi Foundation.- 2015.- <http://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b>.
4. Atmel. 32-bit AVR – Microcontroller. Summary. – San Jose: Atmel Corporation, 2015. – 113 p.
5. Brunke M. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater / Brunke M. and Gonser T. // Freshwater Biol.- 1997.- 37.- pp. 1–33.
6. Giovanni B. Advances in Measurement Systems / Giovanni Bucci, Fabrizio Ciancetta and Edoardo Fiorucci, Edited by Milind Kr Sharma // Rijeka: InTech.- 2010.- 592 p.- ISBN 978-953-307-061-2.
7. Kalbus E. Measuring methods for groundwater – surface water interactions: a review / E. Kalbus, F. Reinstorf, and M. Schirmer // Hydrol. Earth Syst. Sci.- 2006.- 10.- pp. 873 - 887.
8. Murdoch L. C. Factors affecting the performance of conventional seepage meters / Murdoch L. C. and Kelly S. E. // Water Resour. Res.- 2003.- 39(6).- pp. 1163, doi:10.1029/2002WR001347.
9. Schmidt C. Characterization of spatial heterogeneity of groundwater-stream water interactions using multiple depth streambed temperature measurements at the reach scale / Schmidt C., Bayer-Raich M., and Schirmer M. // Hydrol. Earth Syst. Sci.- 2006.- 10.- pp. 849–859, <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/10/849/2006/>.
10. Todd D. K. Groundwater Hydrology / Todd D. K. and Mays L. W.- Wiley, Hoboken.- 2005.

*Поступила в редакцію 4 грудня 2014 р.*